نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد نهم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۱-۲٤
http://ejsms.gau.ac.ir

ارزیابی کیفیت خاک تحت روش‌های مرسوم مدیریت کشاورزی در استان زنجان

سمیه حمیدی نهرانی[۱]، *محمدصادق عسکری[۲]، سعید سعادت[۳]، محمدامیر دلاور[۴] و مهدی طاهری[۵]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زنجان، [۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زنجان،
[۳]استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج،
[٤]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زنجان، [۵]استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰٤/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: کیفیت خاک نقش مهمی در ایجاد ارتباط بین تولید بالا و پایداری منابع اراضی دارد و می‌تواند بر کیفیت هوا، آب و محیط زیست تأثیرگذار باشد. ارزیابی تأثیر روش‌های مدیریتی تحت کاربری‌های کشاورزی بر کیفیت خاک از فرآیندهای لازم برای دست‌یابی به مدیریت پایدار خاک در اکوسیستم‌های کشاورزی است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر روش‌های مرسوم مدیریت کشاورزی بر کیفیت خاک در استان زنجان انجام شد.

مواد و روش‌ها: ۱۵٤ نمونه خاک از ۷۷ مزرعه در سطح استان زنجان (۲۷ سایت در کاربری آبی و ۵۰ سایت در کاربری دیم) از عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متری جمع‌آوری گردید. با توجه به تهدیدات اصلی در ارتباط با خاک در استان زنجان ۳۰ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اندازه‌گیری و به‌عنوان شناسه‌های کیفیت خاک مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص تجمعی کیفیت خاک با تلفیق ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک تعیین شد. مقایسه تأثیر روش‌های متداول مدیریتی در کاربری‌های دیم و آبی بر کیفیت خاک با استفاده از شاخص‌های آماری انجام شد.

یافته‌ها: در کاربری دیم و در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌ترتیب ٤۹/٤۹ و ۲۲/۰٤ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. جرم مخصوص ظاهری خاک در کاربری آبی ۳/٦۸ درصد کم‌تر از کاربری دیم بود. کربن آلی، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس خاک و شاخص ذخیره کربن و نیتروژن خاک در کاربری آبی بیش‌تر از کاربری دیم بود. کربن آلی در کاربری دیم، در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر ۳۳/۸۷ درصد و در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر ۳۱/٤۳ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. هدایت الکتریکی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در کاربری دیم ۵۰/٤٦ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. هم‌چنین، روی قابل‌جذب در کاربری دیم و در دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ٦٦/۵٤ و ٦۳/٤۳ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. ضریب متابولیکی در کاربری دیم بیش‌تر از کاربری آبی بود و در این مطالعه به‌عنوان یکی از ویژگی‌های نشان‌دهنده تخریب خاک شناسایی شد. ضریب متابولیکی در عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر در کاربری آبی به‌ترتیب ٤۰ و ۳۳/۳۳ درصد نسبت به کاربری دیم کم‌تر بود. همبستگی مثبت معنی‌دار بین کربن آلی و ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل پایداری خاکدانه و

* مسئول مکاتبه: askari@znu.ac.ir

هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های زیستی خاک شامل کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس خاک مشاهده شد. شاخص کیفیت خاک تجمعی در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در کاربری آبی (۰/٦٤) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از کاربری دیم (۰/۵۵) بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که از نظر کیفیت خاک، مدیریت کشاورزی آبی شرایط بهتری نسبت به مدیریت کشاورزی دیم دارد. با این وجود، هدایت الکتریکی بالاتر خاک در کاربری آبی ضرورت مدیریت بهتر کودهای شیمیایی و بررسی کیفیت آب‌های مورد استفاده برای آبیاری اراضی استان زنجان را نشان می‌دهد. کربن آلی خاک به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی مؤثر بر کیفیت خاک‌های مورد مطالعه شناسایی شد. استفاده از روش‌های مدیریتی کارآمد از جمله خاک‌ورزی حفاظتی، اجرای تناوب زراعی مناسب و استفاده متعادل از کودهای شیمیایی و آلی که منجر به افزایش ماده آلی خاک می‌شود در هر دو کاربری و به‌ویژه در کاربری دیم ضروری است.

واژه‌های کلیدی: کاربری کشاورزی، کیفیت زیستی خاک، کیفیت فیزیکی خاک، مدیریت خاک

مقدمه

خاک یک منبع بنیادی برای کاربری‌های مختلف کشاورزی بوده و مدیریت آن مهم‌ترین بخش کشاورزی پایدار است. ارزیابی شناسه‌های کیفیت خاک[1] (ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) با توجه به نوع کاربری و سیستم‌های مدیریتی مختلف یک گام ضروری برای ارزیابی کشاورزی پایدار در اکوسیستم‌های کشاورزی است (٤١). کیفیت خاک، به‌عنوان ظرفیت خاک برای انجام نقش‌های مربوط به آن در داخل مرزهای کاربری اراضی و اکوسیستم که تولید زیستی و کیفیت زیست‌محیطی را حفظ می‌کند و سلامت گیاه، حیوان و انسان را ترقی می‌دهد تعریف می‌شود (۱۸). ارزیابی کمی کیفیت خاک با استفاده از شناسه‌های کیفیت خاک (ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) صورت می‌گیرد (۵۸). شناسه‌های کیفیت خاک نه تنها برای ارزیابی شرایط خاک مفید هستند بلکه برای سیاست‌گذاری‌های صحیح کاربری زمین و خاک اهمیت دارند (۵۵).

شناسه‌های شیمیایی نقش مهمی در انعکاس قابلیت خاک برای تأمین عناصر لازم برای حاصلخیزی خاک و تولید محصول دارند (۵۲). در میان شناسه‌های شیمیایی، کربن آلی و کربن کل، نیتروژن کل، واکنش خاک، آنیون‌ها و کاتیون‌های قابل‌استخراج خاک به‌عنوان مؤثرترین شناسه‌ها برای ارزیابی کیفیت خاک مطرح شده‌اند (۱۹). شناسه‌های فیزیکی می‌توانند مقاومت خاک به فرسایش و توان تولید خاک را منعکس کنند (٤۹). توزیع اندازه و پایداری خاکدانه بر فرسایش‌پذیری خاک تأثیرگذار هستند. شناسه‌های فیزیکی مانند چگالی ظاهری، پایداری خاکدانه و هدایت هیدرولیکی توسط سیستم‌های مدیریتی در کوتاه‌مدت تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند و از شناسه‌های مهم در ارزیابی شرایط خاک محسوب می‌شوند (۱۲). ویژگی‌های زیستی کیفیت خاک، فرآیندهای خاک مانند شکل‌گیری خاکدانه، تأمین عناصر غذایی، چرخه عناصر و فعالیت زیستی خاک را منعکس می‌کنند (۱). شناسه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، امتیازدهی شده و با ادغام شناسه‌ها، شاخص‌های کیفیت خاک تعیین می‌شوند (۳۵).

1- Soil quality indicators

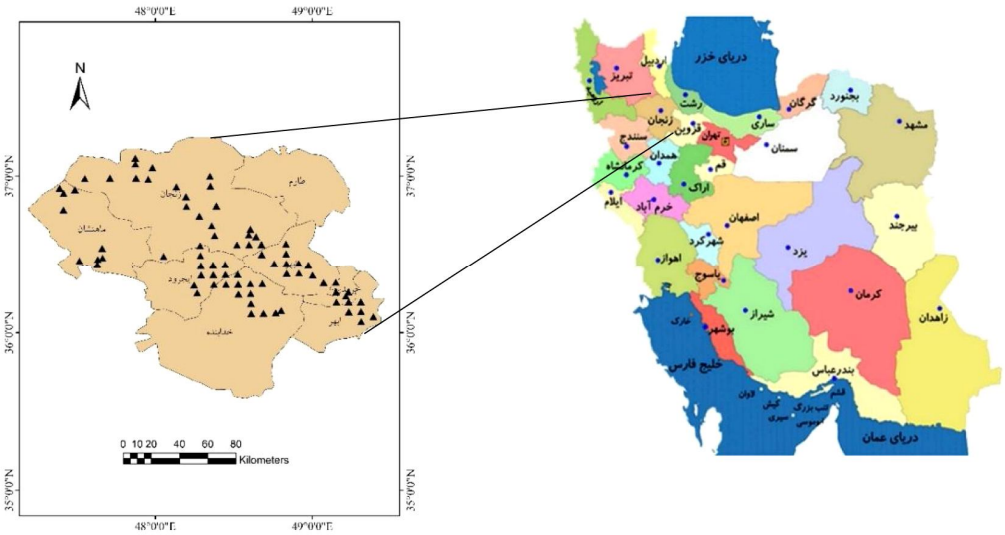
در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عملیات خاک‌ورزی شدید همراه با حذف بقایای گیاهی و تخریب خاک منجر به کاهش ماده آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها شده و باعث تشدید فرسایش خاک می‌شود که این مسأله می‌تواند منجر به کاهش تولید و کیفیت خاک شود (۲۵). فرسایش خاک یکی از عوامل اصلی تخریب زمین‌های کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود (۲۷). لل و همکاران (۱۹۹۷) بیان نمودند که در کاربری دیم، کشت متراکم و حذف بقایای گیاهی از سطح خاک، منجر به کاهش مقدار کربن آلی و کیفیت خاک در مقایسه با کاربری آبی می‌شود (۳۲). نتایج پژوهشی که در اتیوپی انجام شد نشان داد که شاخص ذخیره کربن ۳/٤٤ درصد و شاخص ذخیره نیتروژن ۱/۹۹ درصد در کاربری آبی نسبت به کاربری دیم بیش‌تر بود. این پژوهشگران هم‌چنین گزارش نمودند که کشت متراکم و متوالی منجر به تخریب ساختمان خاک و افزایش فرسایش خاک در کاربری دیم می‌گردد (۲۰). عسکری و هلدن (۲۰۱۵) گزارش کردند که روش کشت چندمحصولی در مقایسه با روش کشت تک‌محصولی کیفیت خاک را افزایش داد (۸). نتایج محقق و همکاران (۲۰۱٦) در چهارمحال‌وبختیاری نشان داد که کربن آلی در کاربری کشت آبی (۱/۸۵ درصد) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم (۰/٤٤ درصد) بود و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نیز در کشت آبی بیش‌تر از کاربری دیم بود (۳۸). در پژوهشی دیگر، گرجی و همکاران (۲۰۱۷) کیفیت خاک را در کاربری‌های مختلف در اراضی کشاورزی قزوین ارزیابی کردند و نتایج این پژوهشگران نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی در کاربری آبی (۰/۳۷) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم (۰/۳٤) بود (۲۲).

استان زنجان از قطب‌های مهم کشاورزی در ایران بوده و کاربری زراعی دیم و آبی بخش وسیعی از اراضی استان را در بر می‌گیرد (٤۷). در زمین‌های زراعی استان به‌دلیل عدم استفاده از روش‌های صحیح مدیریتی، حاصلخیزی خاک‌های زراعی حفظ نمی‌شود. افزون بر این، استفاده از اراضی کم‌بازده در کشاورزی، انجام روش‌های خاک‌ورزی مرسوم، بالا بودن نسبت اراضی دیم به آبی در سطح استان و تخریب پوشش گیاهی و آلودگی خاک از عوامل دیگری است که منابع خاک استان را دچار چالش جدی نموده است (٦٤). موارد عنوان شده نشان‌دهنده وجود چالش‌های مرتبط با کیفیت خاک در استان زنجان بوده و بر لزوم ارزیابی تأثیر روش‌های مدیریتی مرسوم بر کیفیت خاک اراضی کشاورزی استان زنجان تأکید می‌کند. مهم‌ترین تهدیدات مرتبط با خاک‌های استان زنجان که در منابع به آن‌ها اشاره شده است شامل کاهش توانایی تولید، آلودگی به عناصر سنگین و فرسایش خاک می‌باشد. تاکنون پژوهش جامعی به‌منظور بررسی هم‌زمان مهم‌ترین تهدیدات مرتبط با خاک و ارزیابی تأثیر روش‌های مرسوم مدیریتی در دو کاربری آبی و دیم بر کیفیت خاک در استان زنجان صورت نگرفته است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر روش‌های مدیریتی مرسوم در کاربری‌های دیم و آبی بر کیفیت خاک با در نظر گرفتن مهم‌ترین تهدیدات مرتبط با خاک در استان زنجان انجام شد. برای این منظور، با توجه به سه تهدید عنوان شده مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در اراضی کشاورزی اندازه‌گیری شد و تأثیر روش‌های مدیریتی بر کیفیت خاک با استفاده از ویژگی‌های خاک و شاخص کیفیت خاک مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این مطالعه در سطح اراضی کشاورزی استان زنجان بین ´۱۰ °٤۷ تا ´۵ °۵۰ طول

شرقی و ´۲۵ °۳۵ تا ´۱۰ °۳۷ عرض شمالی انجام شد (شکل ۱). مساحت استان نزدیک به ۲۲۱٦٤ کیلومترمربع بوده و حدود ۷۰ هزار بهره‌بردار در اراضی کشاورزی این استان مشغول فعالیت هستند. اقلیم غالب منطقه نیمه‌خشک است. رده‌بندی خاک‌های مورد مطالعه بر اساس کلید تاکسونومی خاک اینسپتی‌سول می‌باشد (۱۰). سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع است (۹). متوسط بارندگی سالانه ۳۲۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۰/۹٤ درجه سانتی‌گراد است. کاربری عمده در منطقه، کشاورزی دیم با سطح زیر کشت ٦٦۲۱۷۹ هکتار و کشاورزی آبی با سطح زیر کشت ۱۰۷۷۰٤ هکتار می‌باشد. محصول اصلی منطقه، گندم با سطح زیر کشت ۳٤٤۲۷۰ هکتار می‌باشد (٤۷).



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری‌شده در منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of sampling sites in the study area.

نمونه‌برداری خاک: برای انجام پژوهش، تعداد ۷۷ پایگاه در سطح استان زنجان (۲۷ پایگاه آبی و ۵۰ پایگاه دیم) از عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. به‌دلیل اهمیت کیفیت خاک زیرسطحی در عمق توسعه ریشه و ذخیره آب مورد نیاز گیاهان زراعی (٤۰)، در این پژوهش دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متر مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌برداری به روش چندمرحله‌ای طبقه‌بندی‌شده[1] انجام شد (۳٤ و ۵۹). برای این منظور، اطلاعات مربوط به کاربری، نوع خاک، زمین‌شناسی و توپوگرافی به‌منظور طبقه‌بندی و تعیین پایگاه‌های نمونه‌برداری استفاده شد. در مرحله بعد طی مطالعات میدانی، پایگاه‌های مشابه انتخاب و نمونه‌برداری انجام شد. جدول ۱ اطلاعات کاربری، توپوگرافی، بافت خاک و روش‌های کشت محصولات را در مزارع مورد مطالعه نشان می‌دهد. طول و عرض جغرافیایی محل پایگاه با استفاده از دستگاه GPS تعیین شد. طی مطالعات میدانی از پایگاه‌های نمونه‌برداری، اطلاعات مدیریتی شامل کاربری، مدیریت کودهای شیمیایی در هر پایگاه، تناوب اعمال شده، روش‌های خاک‌ورزی، سیستم‌های آبیاری و منبع آب آبیاری ثبت

1- Stratified multi stage sampling

شد. به‌طور متوسط در منطقه مورد مطالعه، در کاربری آبی مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و در کاربری دیم مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کودهای ازته، فسفره و پتاسه مصرف می‌شود. روش کشت غالب در کاربری دیم کشت تک‌محصولی و در کاربری آبی روش کشت چندمحصولی است. تناوب زراعی در کاربری دیم به‌صورت گندم- جو و در کاربری آبی به‌صورت گندم- جو، گندم- لوبیا و گندم- سیب‌زمینی و پیاز می‌باشد. روش‌های خاک‌ورزی در دو کاربری مشابه بوده و از خاک‌ورزی مرسوم برای انجام عملیات خاک‌ورزی استفاده می‌شود. سیستم‌های آبیاری اغلب به‌صورت کرتی بوده و منبع آب آبیاری رودخانه قزل‌اوزن و چاه می‌باشد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی، زیستی و بافت خاک، نمونه‌های خاک از هر پایگاه به‌صورت نمونه مرکب تهیه شد. برای تهیه هر نمونه خاک مرکب، تعداد پنج زیرنمونه برداشت شده و با هم مخلوط شدند. نمونه‌های خاک دست‌نخورده با استفاده از سیلندر برای تعیین جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع برداشت شد. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه نیز نمونه‌های خاکدانه به‌صورت جداگانه تهیه شد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی نمونه‌های جداگانه از خاک مرطوب مزرعه برداشته شد و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

جدول ۱- اطلاعات توپوگرافی، بافت خاک سطحی و روش‌های کشت در خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Topographic information, surface soil textural class and crop management of the studied sites.

کاربری Land use	شهرستان County	تعداد نقاط Number of sites	ارتفاع Altitude	متوسط شیب Average Slope	بافت خاک Soil textural class	روش کشت Crop management
آبی Irrigated	Zanjan	11	1508	< 3 %	clay loam, clay, loam, sandy clay loam	Mono-cropping and crop-rotation
	Khodabandeh	7	1810	< 2 %	clay loam, clay, sandy loam	Mono-cropping and crop-rotation
	Abhar	6	1758	< 2 %	clay loam, clay, loam, sandy clay loam	Mono-cropping and crop-rotation
	Mahneshan	2	1554	< 2 %	clay loam, clay	Mono-cropping
	Khorramdarreh	1	1618	< 2 %	clay loam	Crop-rotation
دیم Rainfed	Zanjan	12	1726	< 4 %	clay loam, clay, loam, silty clay loam, sandy loam	Mono-cropping and crop-rotation
	Khodabandeh	5	1894	< 5 %	clay loam, clay	Mono-cropping
	Abhar	11	1722	< 5 %	clay loam, clay, loam, silty clay, sandy clay loam	Mono-cropping and crop-rotation
	Mahneshan	7	1869	< 4 %	clay loam, clay, sandy loam, sandy clay loam	Mono-cropping and crop-rotation
	Khorramdarreh	4	1693	< 5 %	clay loam, clay, loam	Mono-cropping
	Ijrood	11	1875	< 5 %	clay loam, clay, loam, sandy loam, sandy clay loam	Mono-cropping and crop-rotation

Mono-cropping: کشت تک‌محصولی، crop-rotation: کشت چندمحصولی، clay loam: لوم رسی، loam: لوم، clay: رسی، sandy clay loam: لوم رسی شنی، sandy loam: لوم شنی، silty clay loam: لوم رسی سیلتی، silty clay: رسی سیلتی.

تعیین ویژگی‌های خاک: ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک با سه تکرار در آزمایشگاه تعیین شدند. ویژگی‌های فیزیکی شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (۲۱)، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر (۲٤)، پایداری خاکدانه به روش الک تر در سری الک‌های ٦/۳۵، ٤/۷۵، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۰٦ میلی‌متر به‌مدت دو دقیقه اندازه‌گیری شد (۲۹)، سپس میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌های پایدار (MWD و GMD) محاسبه شد (٤٤). هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از روش بار افتان در نمونه‌های خاک دست‌نخورده اندازه‌گیری شد (۳۱). ویژگی‌های شیمیایی شامل واکنش خاک در گل اشباع با استفاده از pHمتر (۵۷)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از ECمتر (۵۰)، کربن آلی به روش والکلی- بلاک (٤۵)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۱۷)، فسفر قابل‌دسترس به روش عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (٤۸)، پتاسیم قابل‌دسترس به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۱۵)، سدیم محلول با استفاده از فلیم‌فتومتر (۳٦)، کلر و بی‌کربنات محلول با استفاده از روش تیتراسیون و نسبت جذب سدیم در عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شدند (٦۱). آهن، منگنز، روی، مس، سرب و کادمیوم قابل‌جذب با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت شدند (٦۲). ویژگی‌های زیستی شامل تنفس میکروبی خاک با استفاده از شیشه‌های دربسته به‌مدت هفت روز اندازه‌گیری شد. برای این منظور مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد شده از ۲۵ گرم خاک مرطوب مزرعه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (۳). کربن زیست‌توده میکروبی با استفاده از روش تدخین- استخراج و از اختلاف مقدار کربن آلی در خاک تدخین شده و تدخین نشده محاسبه شد (٦۰). ضریب متابولیکی به‌صورت دی‌اکسیدکربن آزاد شده از تنفس هر واحد کربن زیست‌توده میکروبی در واحد زمان تعیین شد (۵). شاخص سهم میکروبی از نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به کربن آلی خاک محاسبه شد (٦). شاخص ذخیره کربن (Cs) و شاخص ذخیره نیتروژن (Ns) با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$Cs\ (Mg\ ha^{-1}) = SOC\ (\%) \times BD\ (gr\ cm^{-3}) \times (1\text{-}CF) \times D\ (cm) \quad (۱)$$

$$Ns\ (Mg\ ha^{-1}) = N\ (\%) \times BD\ (gr\ cm^{-3}) \times (1\text{-}CF) \times D\ (cm) \quad (۲)$$

که در آن‌ها، SOC و N درصد کربن آلی و نیتروژن کل، BD جرم مخصوص ظاهری، CF نسبت وزنی سنگریزه (ذرات بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) و D عمق خاک است (۵٤).

تعیین شاخص کیفیت تجمعی: شاخص کیفیت تجمعی با استفاده از ویژگی‌هایی که در بین دو کاربری و در دو عمق مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار داشتند تعیین شد. برای این منظور ویژگی‌های خاک با استفاده از توابع امتیازدهی خطی شامل "بیش‌تر بهتر است"، "کم‌تر بهتر است" و "محدوده بهینه" امتیازدهی شدند. روش امتیازدهی خطی با استفاده از روابط ۳ و ٤ به‌ترتیب برای تابع "بیش‌تر بهتر است" و تابع "کم‌تر بهتر است" انجام شد.

$$S_L = (x-l)/(h-l) \quad (۳)$$

$$S_L = 1-((x-l)/(h-l)) \quad (٤)$$

که در آن‌ها، S_L امتیاز خطی است که مقدار آن بین صفر تا یک است، x مقدار اندازه‌گیری‌شده ویژگی خاک، l حداقل مقدار و h بیش‌ترین مقدار ویژگی خاک است (۳۵).

تابع امتیازدهی "محدوده بهینه" برای ویژگی‌هایی که دارای حدود بهینه مناسبی می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب که یک محدوده بهینه برای آن ویژگی خاک تعریف شد و سپس با استفاده از توابع "بیش‌تر بهتر است" و "کم‌تر بهتر است" بسته به این‌که مقدار ویژگی اندازه‌گیری شده پایین‌تر یا بالاتر از حد بهینه بود، امتیازدهی ویژگی‌ها صورت گرفت. اگر مقدار ویژگی خاک معادل با محدوده بهینه بود، امتیاز آن ویژگی برابر یک در نظر گرفته شد (۷).

امتیازات ویژگی‌ها در نهایت با استفاده از روش تجمعی (رابطه ۵) ادغام و به‌صورت شاخص‌های کیفیت خاک محاسبه شد.

$$SQI = \sum_{i=1}^{n} S_i / n \qquad (۵)$$

که در آن، SQI شاخص کیفیت تجمعی، S_i امتیاز ویژگی‌ها و n تعداد ویژگی‌ها است (۳۵).

ویژگی‌های میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌های پایدار، کربن آلی، نیتروژن کل، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس، شاخص ذخیره کربن و نیتروژن با استفاده از تابع "بیش‌تر بهتر است" (رابطه ۳) به‌دلیل تأثیر مثبت این ویژگی‌ها بر کیفیت خاک امتیازدهی شدند. ضریب متابولیکی، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، سدیم محلول، کلر و بی‌کربنات با استفاده از تابع "کم‌تر بهتر است" (رابطه ٤) به‌دلیل تأثیر منفی این ویژگی‌ها بر کیفیت خاک امتیازدهی شدند (۳۳ و ٤۲). تابع "محدوده بهینه" برای روی قابل‌جذب خاک استفاده شد و محدوده بهینه معادل ۲-۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد (۳۳).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: پیش از انجام تجزیه‌های آماری، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. داده‌هایی که دارای توزیع نرمال نبودند با استفاده از روش‌های لگاریتم و وارون‌سازی نرمال شدند. آزمون t مستقل[1] برای ارزیابی ویژگی‌های خاک و شاخص کیفیت تجمعی در دو کاربری دیم و آبی مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج و بحث

توصیف آماری ویژگی‌های خاک سطحی در دو کاربری دیم و آبی در جدول ۲ خلاصه شده است. مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس خاک در کاربری آبی بیش‌تر از کاربری دیم بود. بیش‌ترین انحراف معیار مربوط به کلر، سدیم و پتاسیم بود که نشان‌دهنده دامنه تغییرات زیاد این ویژگی‌ها در خاک‌های مورد مطالعه است.

1- Independent-samples t-test

جدول ۲- توصیف آماری ویژگی‌های خاک در دو کاربری دیم و آبی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر.

Table 2. Statistics description of soil properties in irrigated and rainfed land use at 0-30 cm depth.

ویژگی‌های خاک Soil properties	واحد Unit	آبی Irrigated				دیم Rainfed			
		حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation
رس Clay	%	10.00	75.00	31.31	12.64	12.50	47.50	29.65	9.40
شن Sand	%	3.25	65.00	35.74	12.51	15.00	72.50	38.04	12.91
سیلت Silt	%	20.00	45.00	32.94	6.90	12.50	42.50	32.31	5.98
سنگریزه CF	%	4.31	31.09	14.20	7.41	2.41	40.22	15.13	7.58
جرم مخصوص ظاهری BD	g cm^{-3}	1.14	1.46	1.31	0.07	1.17	1.59	1.36	0.09
میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD	mm	0.73	5.75	2.93	1.56	0.56	3.87	1.48	0.85
میانگین هندسی قطر خاکدانه GMD	mm	0.55	1.93	1.13	0.39	0.51	1.34	0.73	0.17
هدایت هیدرولیکی اشباع Ks	cm day^{-1}	11.85	104.55	55.66	22.75	9.13	88.10	43.39	18.44
هدایت الکتریکی EC	ds m^{-1}	0.31	4.17	1.09	1.07	0.31	1.76	0.54	0.27
واکنش خاک pH		7.10	8.30	7.68	0.30	6.91	8.30	7.72	0.32
نسبت جذب سدیم SAR	$(mmol\ l^{-1})^{0.5}$	0.09	12.22	2.46	2.90	0.12	15.26	1.38	2.25
کربن آلی OC	%	0.25	1.20	0.62	0.27	0.05	1.17	0.41	0.21
نیتروژن کل TN	%	0.02	0.10	0.05	0.02	0.001	0.09	0.03	0.02
فسفر قابل‌جذب P	ppm	0.60	35.80	11.34	9.31	1.80	46.20	8.72	8.01
پتاسیم قابل‌جذب K	ppm	180.59	547.06	349.68	106.50	114.48	564.53	340.45	112.29

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

ویژگی‌های خاک Soil properties	واحد Unit	آبی Irrigated				دیم Rainfed			
		حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation
آهن Fe	ppm	3.13	23.50	7.58	4.20	1.86	14.15	6.58	2.57
منگنز Mn	ppm	2.54	31.00	13.13	5.99	4.08	27.00	12.46	4.70
روی Zn	ppm	0.34	39.50	2.60	7.50	0.16	10.70	0.87	1.49
مس Cu	ppm	0.58	3.64	1.89	0.83	0.52	4.99	1.74	0.82
کادمیوم Cd	ppm	0.001	0.28	0.03	0.07	0.001	0.18	0.01	0.03
سرب Pb	ppm	0.32	4.40	1.80	1.13	0.49	7.80	1.42	1.06
سدیم Na	$mg\ l^{-1}$	3.37	628.39	114.30	159.12	5.30	672.14	54.54	98.63
کلر Cl	$mg\ l^{-1}$	35.50	873.89	179.12	200.70	35.50	211.23	78.11	35.48
بی‌کربنات HCO_3	$mg\ l^{-1}$	85.40	323.30	188.42	66.53	54.90	323.30	157.38	53.89
تنفس خاک SMR	$mg\ c\ kg^{-1}\ day^{-1}$	7.24	13.14	9.41	1.48	5.68	10.66	8.25	1.28
کربن زیست‌توده میکروبی MBC	$mg\ kg^{-1}$	122.11	503.91	289.82	98.25	28.65	417.03	213.41	93.46
ضریب متابولیکی Metabolic quotient	$mg\ CO_2\text{-}C\ mg\ MBC^{-1}\ day^{-1}$	0.02	0.06	0.04	0.01	0.02	0.21	0.05	0.04
شاخص سهم میکروبی Microbial quotient index	$mg\ C_{mic}\ g^{-1}\ C_{org}$	32.18	72.30	48.65	9.71	17.67	108.14	56.33	19.88
شاخص ذخیره کربن Carbon stock	$t\ ha^{-1}$	8.43	40.91	21.15	9.40	1.89	29.42	13.80	6.47
شاخص ذخیره نیتروژن Nitrogen stock	$t\ ha^{-1}$	0.67	3.45	1.73	0.80	0.16	3.55	1.18	0.62

تأثیر نوع کاربری بر ویژگی‌های فیزیکی خاک: نوع کاربری زمین تأثیر معنی‌داری (P<۰/۰۰۱) بر ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل میانگین وزنی و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب در دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر داشت. تأثیر کاربری بر جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع تنها در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر معنی‌دار بود (جدول ۳). معمولاً روش‌های مدیریتی انجام‌شده در اکوسیستم‌های کشاورزی بیش‌ترین تأثیر را بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های سطحی دارند (۵۳). در این مطالعه نیز در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر شناسه‌های فیزیکی کیفیت خاک بیش‌ترین تفاوت را نشان دادند. جرم مخصوص ظاهری در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در کاربری آبی (۱/۳۱ g cm^{-3}) پایین‌تر از کاربری دیم (۱/۳٦ g cm^{-3}) بود (۳/٦۸ درصد، جدول ۳). در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری بین دو کاربری از نظر جرم مخصوص ظاهری مشاهده نشد. بیش‌تر بودن کربن آلی خاک در کاربری آبی نسبت به کاربری دیم (جدول ٤) و همبستگی منفی (r = -۰/٤۰) بین جرم مخصوص ظاهری و کربن آلی خاک (جدول ٦) باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری در کاربری آبی شد. ماده آلی با بهبود تخلخل خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (۱۹). هم‌چنین، کشت متراکم و متوالی در کاربری دیم و استفاده از روش‌های مدیریتی نامناسب مانند سیستم کشت تک‌محصولی به‌صورت گندم- آیش منجر به افزایش فشردگی و تخریب ساختمان خاک شده و در نتیجه جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد (۲۰). در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در کاربری آبی (mm۲/۹۳) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم (۱/٤۸ mm) بود (جدول ۳). تخریب خاکدانه‌ها در اثر عملیات زراعی نامناسب شامل کشت متراکم و برنگرداندن بقایای گیاهی به خاک در کاربری دیم و هم‌چنین پایین‌بودن کربن آلی خاک در کاربری دیم نسبت به کاربری آبی (جدول ٤) باعث شد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، در کاربری دیم ٤۹/٤۹ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر باشد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) همبستگی مثبت معنی‌داری با کربن آلی و ویژگی‌های زیستی خاک داشت (جدول ٦). پژوهش‌های بسیاری تأثیر ماده آلی بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها را گزارش نموده‌اند (۲۳ و ٤٦). در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر نیز میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب در کاربری آبی (۲/۸۱ mm) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم (۱/۳۷ mm) بود (جدول ۳). در کاربری آبی هم‌چنین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌های پایدار در دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر سانتی‌متر به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در کاربری آبی (۵۵/٦٦ cm day^{-1}) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم (٤۳/۳۹ cm day^{-1}) بود. هدایت هیدرولیکی اشباع همبستگی منفی معنی‌داری (r = -۰/۳۰) با جرم مخصوص ظاهری و همبستگی مثبت معنی‌دار (r = ۰/۵۷) با کربن آلی خاک داشت (جدول ٦). در کاربری دیم به‌دلیل بالا بودن جرم مخصوص ظاهری و تخریب ساختمان خاک در پی کشت متراکم و برنگرداندن بقایای گیاهی به خاک و کاهش ماده آلی، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۲۲/۰٤ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. نتایج کلیشادی و همکاران (۲۰۱٤) در منطقه کوهرنگ در استان چهارمحال‌وبختیاری نیز نشان داد که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تحت‌تأثیر کلاس بافت خاک قرار نگرفت در حالی‌که تأثیر نوع کاربری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک معنی‌دار بود (۲۸).

جدول ۳- نتایج آزمون t با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای ویژگی‌های فیزیکی خاک در دو کاربری دیم و آبی در عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر.

Table 3. The results of t-test with 95 % confidence interval for soil physical properties in two irrigated and rainfed land uses at 0-30 and 30-60 cm depths.

ویژگی فیزیکی خاک Soil physical property	واحد Unit	عمق Depth (cm)	میانگین (آبی) Mean Irrigated	میانگین (دیم) Mean Rainfed	t-value	سطح معنی‌داری p-value
رس Clay	%	0-30	31.31	29.65	0.653	0.516
		30-60	34.37	35.00	-0.252	0.802
شن Sand	%	0-30	35.74	38.04	-0.752	0.454
		30-60	28.59	31.04	-0.703	0.484
سیلت Silt	%	0-30	32.94	32.31	0.420	0.675
		30-60	37.04	33.96	1.763	0.082
سنگریزه CF	%	0-30	14.20	15.13	-0.540	0.591
		30-60	17.51	16.83	0.299	0.765
جرم مخصوص ظاهری BD	$g\ cm^{-3}$	0-30	1.31	1.36	-2.089	0.040
		30-60	1.41	1.42	-0.675	0.504
میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD	Mm	0-30	2.93	1.48	4.907	0.000
		30-60	2.81	1.37	4.615	0.000
میانگین هندسی قطر خاکدانه GMD	Mm	0-30	1.13	0.73	5.077	0.000
		30-60	1.06	0.65	5.121	0.000
هدایت هیدرولیکی اشباع Ks	$cm\ day^{-1}$	0-30	55.66	43.39	2.482	0.015
		30-60	36.31	29.85	0.822	0.416

تأثیر نوع کاربری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک: نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل و روی قابل جذب در سطح احتمال ۱ درصد و نسبت جذب سدیم، سدیم، کلر و بی‌کربنات محلول در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری در دو کاربری دیم و آبی و در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر داشتند (جدول ٤). درصد کربن آلی خاک و مقدار نیتروژن کل در هر دو عمق مورد مطالعه، در کاربری آبی بالاتر از کاربری دیم بود (جدول ٤). همبستگی مثبت و معنی‌داری (r = ۰/۹٤) بین کربن آلی و نیتروژن کل خاک مشاهده شد (جدول ٦). کربن آلی در کاربری دیم، در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر ۳۳/۸۷ درصد و در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر ۳۱/٤۳ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. افزایش مقدار نیتروژن خاک در کاربری آبی نسبت به کاربری دیم را می‌توان به استفاده از مقادیر بالاتر کودهای شیمیایی در کاربری آبی نسبت داد. علاوه بر این، کشت متراکم و حذف بقایای گیاهی از سطح خاک در کاربری دیم باعث افزایش تخریب و فرسایش خاک و کاهش ماده آلی خاک در اثر رواناب و فرسایش می‌شود (١٤).

هدایت الکتریکی در کاربری آبی در هر دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر بالاتر از کاربری دیم بود. هدایت الکتریکی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در کاربری دیم ٥۰/٤٦ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. نسبت جذب سدیم در هر دو عمق مورد مطالعه در کاربری آبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم بود ولی این تفاوت به اندازه‌ای نبود که پایداری خاکدانه را تحت‌تأثیر قرار دهد و تأثیر مقدار ماده آلی بر میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها بیش‌تر از تأثیر نسبت جذب سدیم بوده است (۲۳). نسبت جذب سدیم همبستگی مثبت معنی‌دار (r = ۰/۷٦) با هدایت الکتریکی خاک داشت (جدول ٦). هم‌چنین غلظت سدیم، کلر و بی‌کربنات محلول در کاربری آبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم بود (جدول ٤). غلظت سدیم، کلر و بی‌کربنات محلول همبستگی مثبت معنی‌داری با هدایت الکتریکی خاک داشت (جدول ٦). علت بالاتر بودن هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در کاربری آبی نسبت به کاربری دیم را می‌توان به کیفیت آب آبیاری و مصرف بیش‌تر کودهای شیمیایی نسبت داد. براساس مطالعات میدانی انجام شده در این پژوهش، به‌طور متوسط در کاربری آبی مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و در کاربری دیم مقدار ٥۰ کیلوگرم در هکتار کودهای ازته، فسفره و پتاسه مصرف می‌شود. میثاقی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از پارامترهای سدیم، کلر، بی‌کربنات، هدایت الکتریکی ونسبت جذب سدیم، کیفیت آب رودخانه قزل‌اوزن را برای آبیاری در ایستگاه‌های هیدرومتری استان زنجان بررسی و بیان نمودند که شاخص کیفیت آب از بد تا متوسط در طی سال‌های ۱۹۹٦ تا ۲۰۱۰ متغیر بوده است (۳۷). نتایج علی‌دوست و همکاران (۲۰۱٥) نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی در میان چهار کاربری جنگل، مرتع، کشت آبی و دیم در کاربری کشت آبی (۲۹۷/۰۷ $\mu s\ cm^{-1}$) مشاهده شد و مصرف بیش‌تر کودهای شیمیایی در کاربری آبی را از علل افزایش شوری خاک برشمردند (٤).

میانگین روی قابل‌جذب در کاربری آبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم بود. روی قابل‌جذب در کاربری دیم و در دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ٦٦/٥٤ و ٦۳/٤۳ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. آلودگی آب با عناصر سنگین در استان زنجان توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (۳۹). وجود چندین شهرک صنعتی، معادن و کارخانه‌های ذوب فلزات سرب و روی از دلایل افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطرف مناطق صنعتی در استان زنجان می‌باشد (۲٦). فرسایش خاک و رواناب باعث انتقال آلودگی به رودخانه‌ها و آب‌های سطحی می‌شود که از منابع اصلی تأمین آب مورد استفاده در کشاورزی آبی در استان زنجان می‌باشند (٤۳).

جدول ٤- نتایج آزمون t با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای ویژگی‌های شیمیایی خاک در دو کاربری دیم و آبی در عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر.

Table 4. The results of t-test with 95% confidence interval for soil chemical properties in two irrigated and rainfed land uses at 0-30 and 30-60 cm depths.

ویژگی شیمیایی خاک Soil chemical property	واحد Unit	عمق Depth (cm)	میانگین (آبی) Mean Irrigated	میانگین (دیم) Mean Rainfed	t-Value	سطح معنی‌داری P-value
کربن آلی OC	%	0-30	0.62	0.41	3.886	0.000
		30-60	0.35	0.24	2.767	0.007
نیتروژن کل TN	%	0-30	0.05	0.03	3.466	0.001
		30-60	0.03	0.02	2.714	0.008
هدایت الکتریکی EC	$ds\ m^{-1}$	0-30	1.09	0.54	-2.837	0.007
		30-60	1.12	0.51	-2.836	0.007
واکنش خاک pH		0-30	7.68	7.72	-0.487	0.628
		30-60	7.75	7.75	0.050	0.980
نسبت جذب سدیم SAR	$(mmol\ l^{-1})^{0.5}$	0-30	2.46	1.38	2.154	0.034
		30-60	2.61	0.96	2.288	0.028
سدیم Na	$mg\ l^{-1}$	0-30	114.30	54.54	2.416	0.018
		30-60	121.38	36.07	2.231	0.032
کلر Cl	$mg\ l^{-1}$	0-30	179.12	78.11	3.202	0.003
		30-60	202.50	71.54	2.498	0.018
بی‌کربنات HCO_3	$mg\ l^{-1}$	0-30	188.42	157.38	2.145	0.035
		30-60	183.22	147.99	2.400	0.019
فسفر قابل‌جذب P	ppm	0-30	11.34	8.72	0.836	0.406
		30-60	6.41	5.37	1.119	0.267
پتاسیم قابل‌جذب K	ppm	0-30	349.68	340.45	0.350	0.727
		30-60	262.88	267.69	-0.183	0.855
آهن Fe	ppm	0-30	7.58	6.58	1.181	0.242
		30-60	7.78	6.25	1.400	0.165
منگنز Mn	ppm	0-30	13.13	12.46	0.358	0.721
		30-60	13.05	12.36	0.442	0.660
روی Zn	ppm	0-30	2.60	0.87	-2.692	0.009
		30-60	1.34	0.49	-3.013	0.004
مس Cu	ppm	0-30	1.89	1.74	0.750	0.445
		30-60	1.98	1.79	0.805	0.423
کادمیوم Cd	ppm	0-30	0.03	0.01	1.223	0.228
		30-60	0.01	0.01	0.907	0.370
سرب Pb	ppm	0-30	1.80	1.42	1.682	0.097
		30-60	1.62	1.30	1.751	0.084

تأثیر نوع کاربری بر ویژگی‌های زیستی خاک: ویژگی‌های زیستی خاک شامل تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد در دو کاربری دیم و آبی و در دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰- ۳۰ سانتی‌متر داشتند. ضریب متابولیکی در هر دو عمق، در سطح احتمال ۵ درصد و شاخص ذخیره کربن و نیتروژن در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در سطح احتمال ۱ درصد و در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری در دو کاربری دیم و آبی داشتند (جدول ۵).

کربن زیست‌توده میکروبی در کاربری آبی در هر دو عمق مورد مطالعه بالاتر از کاربری دیم بود و با افزایش عمق مقدار آن کاهش یافت (جدول ۵). کربن زیست‌توده میکروبی، در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در کاربری دیم ۲٦/۳٦ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود. کربن زیست‌توده میکروبی همبستگی مثبت معنی‌داری (r = ۰/۷٤) با کربن آلی خاک داشت (جدول ٦). میزان کربن زیست‌توده میکروبی تابعی از کربن آلی خاک است و کربن زیست‌توده میکروبی در بیش‌تر مواقع ۱ تا ۳ درصد کربن آلی خاک را شامل می‌شود (۱۳). کربن آلی بالاتر در کاربری آبی منجر به افزایش جمعیت میکروبی خاک نسبت به کاربری دیم شده است. بر اساس نتایج همبستگی مثبت معنی‌داری (r = ۰/۷٤) بین تنفس میکروبی و کربن آلی خاک مشاهده شد (جدول ٦). میانگین تنفس خاک در عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر در کاربری دیم به‌ترتیب ۱۲/۲۳ و ۲۰/۷۰ درصد نسبت به کاربری آبی کم‌تر بود (جدول ۵). علت افزایش تنفس میکروبی در کاربری آبی می‌تواند مقدار بالاتر کربن آلی در این کاربری و همبستگی مثبت و معنی‌دار تنفس میکروبی با کربن آلی خاک باشد. این نتیجه با یافته‌های علمداری و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت داشت و نتایج این پژوهشگران نیز نشان داد که تنفس میکروبی در مقادیر بالاتر مواد آلی در خاک سطحی و زیرسطحی افزایش می‌یابد (۲). تنفس خاک نسبت به تخریب خاک بسیار حساس است، بنابراین یک شناسه کاربردی برای تشخیص زودهنگام تخریب خاک است (٥٦). تخریب و فرسایش بیش‌تر خاک در کاربری دیم نسبت به کاربری آبی باعث کاهش ماده آلی خاک شده و تنفس میکروبی خاک کاهش یافت.

مقایسه میانگین شاخص ذخیره کربن و شاخص ذخیره نیتروژن در دو کاربری نشان داد که ذخیره کربن و نیتروژن در کاربری آبی در عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر بالاتر از کاربری دیم بود (جدول ۵). افزایش ذخیره کربن در خاک باعث کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در اتمسفر می‌شود (۳۰). شاخص ذخیره کربن و نیتروژن با کربن آلی، نیتروژن کل و پایداری خاکدانه همبستگی مثبت معنی‌دار داشت در حالی‌که همبستگی منفی با جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده شد (جدول ٦). با افزایش ماده آلی، ساختمان و خلل و فرج خاک بهبود یافته و جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد که باعث کاهش رواناب و فرسایش و افزایش ذخیره کربن و نیتروژن در خاک می‌شود. نتایج سعیدی‌فر و همکاران (۲۰۱٦) نیز نشان داد که سطوح مختلف فشردگی خاک باعث افزایش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری و کاهش معنی‌دار ذخیره کربن و نیتروژن در خاک گردید (٥۱). نتایج باشر و همکاران (۲۰۱۷) در نیوزیلند نشان داد که تأثیر فرسایش خاک بر ترسیب کربن طی دوره چندین ساله پایدار بوده و افزایش

فرسایش خاک باعث کاهش ترسیب کربن گردید که با نتایج این پژوهش در کاربری دیم مطابقت داشت (۱۱).

نتایج نشان داد که ضریب متابولیکی در عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در کاربری زراعی آبی به‌ترتیب ۴۰ و ۳۳/۳۳ درصد نسبت به کاربری دیم کم‌تر بود (جدول ۵). ضریب متابولیکی، مقدار تنفس خاک (کربن تجزیه شده برای تولید انرژی) به‌ازای هر واحد کربن زیست‌توده میکروبی (کربن مصرف‌شده برای تشکیل زیست‌توده جدید) در واحد زمان را بیان می‌کند. بالاتر بودن این ضریب در کاربری دیم نشان می‌دهد که زیست‌توده میکروبی در کاربری دیم به‌ازای هر واحد کربن آلی خود مقدار بیش‌تری از کربن آلی خاک را معدنی نموده و به دی‌اکسیدکربن تبدیل کرده است. ضریب متابولیکی با کربن آلی و کربن زیست‌توده میکروبی رابطه منفی و معنی‌دار داشت (جدول ٦). این نتیجه با یافته‌های زنگ و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت. این پژوهشگران بیان نمودند که با افزایش کربن آلی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک، ضریب متابولیکی کاهش یافت (٦۵).

جدول ۵- نتایج آزمون t با سطح اطمینان ۹۵ درصد برای ویژگی‌های زیستی خاک در دو کاربری دیم و آبی در عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر.

Table 5. The results of t-test with 95 % confidence interval for soil biological properties in two irrigated and rainfed land uses at 0-30 and 30-60 cm depths.

ویژگی زیستی خاک Soil biological property	واحد Unit	عمق Depth (cm)	میانگین (آبی) Mean Irrigated	میانگین (دیم) Mean Rainfed	t-Value	سطح معنی‌داری P-Value
تنفس خاک SMR	mg c kg^{-1} day^{-1}	0-30	9.40	8.25	3.568	0.001
		30-60	8.31	6.59	5.902	0.000
کربن زیست توده میکروبی MBC	mg kg^{-1}	0-30	289.82	213.41	3.362	0.001
		30-60	225.61	147.96	4.290	0.000
ضریب متابولیکی Metabolic quotient	mg CO_2-C mg MBC^{-1} day^{-1}	0-30	0.03	0.05	2.426	0.018
		30-60	0.04	0.06	2.061	0.043
شاخص سهم میکروبی Microbial quotient index	mg C_{mic} g^{-1} C_{org}	0-30	48.65	56.33	-1.340	0.184
		30-60	103.98	77.94	0.990	0.325
شاخص ذخیره کربن Carbon stock	t ha^{-1}	0-30	21.15	13.80	3.944	0.000
		30-60	12.17	8.45	2.358	0.023
شاخص ذخیره نیتروژن Nitrogen stock	t ha^{-1}	0-30	1.73	1.18	3.376	0.001
		30-60	0.95	0.63	2.508	0.017

جدول ٦- ضرایب همبستگی اسپیرمن برای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک برای میانگین دو عمق در دو کاربری.

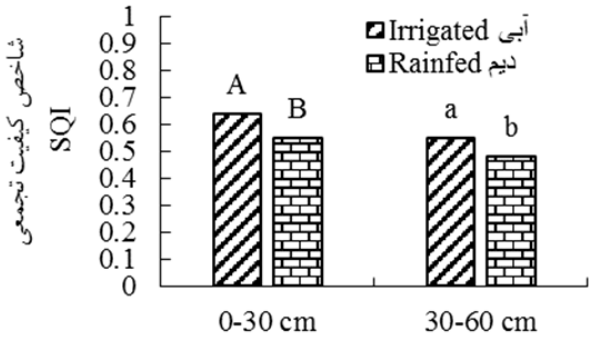
Table 6. Spearman correlation coefficients for soil physical, chemical and biological properties for average of two depths in two land uses.

ویژگی خاک Soil property	BD	MWD	GMD	Ks	EC	SAR	OC	TN	Zn	Na	Cl	HCO_3	SMR	MBC	Cs	Ns	qCO_2
MWD	0.01																
GMD	-0.06	0.93**															
Ks	-0.30**	0.33**	0.32**														
EC	0.04	0.20	0.26	0.07													
SAR	0.03	0.21	0.30	0.06	0.76**												
OC	-0.40**	0.42**	0.39**	0.57**	-0.04	-0.07											
TN	-0.36**	0.45**	0.41**	0.55**	-0.07	-0.09	0.94**										
Zn	-0.09	0.08	0.12	0.09	0.38**	0.25	0.09	0.04									
Na	0.01	0.18	0.27	0.05	0.81**	0.97**	-0.07	-0.09	0.29								
Cl	0.05	0.15	0.21	0.10	0.88**	0.60**	-0.03	-0.04	0.49**	0.65**							
HCO_3	0.01	0.18	0.26	0.01	0.85**	0.75**	-0.05	-0.07	0.20	0.78**	0.62**						
SMR	-0.43**	0.39**	0.38**	0.45**	-0.02	-0.01	0.74**	0.73	-0.05	-0.02	-0.04	0.01					
MBC	-0.42**	0.45**	0.47**	0.44**	0.05	0.03	0.74**	0.69**	0.11	0.01	0.05	0.04	0.67**				
Cs	-0.36**	0.42**	0.40**	0.57**	-0.04	-0.06	0.98**	0.92**	0.09	-0.06	-0.01	-0.05	0.72**	0.73**			
Ns	-0.32**	0.44**	0.41**	0.53**	-0.07	-0.08	0.91**	0.97**	0.02	-0.07	-0.03	-0.08	0.72**	0.67**	0.93**		
qCO_2	0.36**	-0.33**	-0.37**	-0.35**	-0.03	-0.03	-0.54**	-0.49**	-0.13	-0.02	-0.03	0.01	-0.31**	-0.87**	-0.54**	-0.47**	
SQI	-0.33**	0.58**	0.56**	0.53**	-0.19	-0.22	0.88**	0.86**	0.12	-0.24	-0.12	-0.19	0.71**	0.79**	0.87**	0.85**	-0.60**

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد. (Significant at 1% probability level)

BD: جرم مخصوص ظاهری، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه، GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه، Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع، EC: هدایت الکتریکی، SAR: نسبت جذب سدیم، OC: کربن آلی، TN: نیتروژن کل، Zn: روی، Na: سدیم، Cl: کلر، HCO_3: بی‌کربنات، SMR: تنفس میکروبی، MBC: کربن زیست‌توده میکروبی، Cs: شاخص ذخیره کربن، Ns: شاخص ذخیره نیتروژن، qCO_2: ضریب متابولیکی، SQI: شاخص کیفیت تجمعی.

ارزیابی شاخص کیفیت تجمعی در دو کاربری آبی و دیم: نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت تجمعی در کاربری آبی، در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر ۰/۸٦ و کم‌ترین مقدار آن ۰/٤۱ بود. در کاربری آبی در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر حداکثر مقدار شاخص کیفیت تجمعی ۰/۷۵ و حداقل مقدار آن ۰/۳۲ بود. محدوده تغییرات شاخص کیفیت تجمعی در کاربری دیم در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر ۰/۷۰-۰/۳٤ و در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر ۰/٦-۰/۲۸ بود. مقایسه میانگین شاخص کیفیت خاک در بین دو کاربری دیم و آبی نشان داد که در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر شاخص کیفیت تجمعی در کاربری آبی (۰/٦٤) به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم (۰/۵۵) بود. در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر نیز روند مشابهی مشاهده شد (شکل ۲). این نتیجه با یافته‌های گرجی و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت. این پژوهشگران بیان نمودند که شاخص کیفیت تجمعی در کاربری آبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم بود (۲۲). شاخص کیفیت تجمعی همبستگی مثبت معنی‌داری با کربن آلی، نیتروژن کل، میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌های پایدار، هدایت هیدرولیکی و ویژگی‌های میکروبی خاک داشت. کربن آلی نسبت به سایر ویژگی‌ها، بیش‌ترین همبستگی (r = ۰/۸۸) را با شاخص کیفیت تجمعی خاک داشت (جدول ٦). ماده آلی خاک به‌عنوان شناسه جهانی کیفیت برای خاک‌ها شناخته شده است (۱۹). این ویژگی نقش حیاتی در فعالیت بیولوژیکی، بهبود تخلخل و کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاکدانه و حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند (۱۹). کربن آلی، میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌های پایدار، هدایت هیدرولیکی و ویژگی‌های میکروبی خاک در کاربری آبی شرایط بهتری نسبت به کاربری دیم داشتند که منجر به افزایش شاخص کیفیت خاک در کاربری آبی شد. بر اساس نتایج، همبستگی منفی معنی‌داری بین ویژگی‌های جرم مخصوص ظاهری و ضریب متابولیکی با شاخص کیفیت تجمعی مشاهده شد (جدول ٦). تناوب‌های زراعی انجام‌شده در اراضی آبی و شیب کم‌تر اراضی در کاربری آبی نسبت به کاربری دیم می‌تواند در کاهش فرسایش و افزایش ماده آلی خاک در این اراضی تأثیرگذار باشد (٦۳). تأثیر مثبت تناوب زراعی بر بهبود ساختمان و افزایش کیفیت خاک در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (۱٦). عسکری و هلدن (۲۰۱۵) بیان نمودند که روش کشت چندمحصولی در مقایسه با روش کشت تک‌محصولی کیفیت خاک را افزایش می‌دهد (۸).



شکل ۲- شاخص کیفیت تجمعی در دو کاربری آبی و دیم. حروف بزرگ و حروف کوچک به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متر در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون t هستند.

Figure 2. Soil quality index in irrigated and rainfed land use. Capital letters and lowercase letters correspond to significantly difference at P<0.05 for 0-30 and 30-60 cm depth, according to the t-test.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص کیفیت تجمعی در کاربری آبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربری دیم بود. مطالعات میدانی و بررسی روش‌های مدیریتی در دو کاربری آبی و دیم در استان زنجان نشان داد که میزان مصرف کودهای ازته، فسفره و پتاسه در کاربری زراعی آبی در حدود دو برابر بیش‌تر از کاربری زراعی دیم بود. رعایت تناوب زراعی در کشت و کار در اراضی زراعی آبی نسبت به سیستم تک‌کشتی در اراضی دیم را می توان به‌عنوان یکی از دلایل کاهش کیفیت خاک و عملکرد محصول در اراضی دیم استان زنجان دانست. هدایت الکتریکی خاک در کاربری زراعی آبی بالاتر از کاربری دیم بود و با وجود آن که کاربری آبی در محدوده خاک‌های شور قرار نداشت اما بررسی کیفیت آب‌های مورد استفاده برای آبیاری در استان زنجان از نظر تأثیر بر شوری خاک در سال‌های آینده ضروری است. نتایج این پژوهش نشان داد که کربن آلی خاک با شناسه‌های فیزیکی کیفیت خاک مانند هدایت هیدرولیکی اشباع و پایداری خاکدانه همبستگی مثبت و با جرم مخصوص ظاهری خاک همبستگی منفی معنی‌دار داشت. هم‌چنین همبستگی بالایی بین کربن آلی خاک با شاخص کیفیت تجمعی و شناسه‌های زیستی خاک مشاهده شد. بنابراین می‌توان بیان نمود که کربن آلی خاک به‌عنوان مهم‌ترین شناسه کیفیت خاک در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد. در کاربری دیم، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، افزایش بقایای گیاهی در سطح خاک، اجرای تناوب زراعی مناسب و استفاده متعادل از کودهای شیمیایی و کود دامی می‌تواند منجر به افزایش ذخیره کربن آلی خاک شده و کیفیت خاک را بهبود بخشد. مدیریت پایدار خاک در استان زنجان نیازمند تدوین دستورالعمل‌های مدیریتی کارآمد و ارائه روش‌های مدیریتی مناسب در زمینه کوددهی، خاک‌ورزی و آبیاری اراضی به کشاورزان می‌باشد.

منابع

1. Abawi, G.S., and Widmer, T.L. 2000. Impact of soil health management practices on soil borne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. Applied Soil Ecology. 15: 1. 37-47.
2. Alamdari, P., Rezaee, B., and Golchin, A. 2016. Effect of land use change on soil quality and clay mineralogy in Valarude region of Zanjan province. J. Water Soil Sci. 26: 1-1. 305-316. (In Persian)
3. Alef, K. 1995. Soil respiration. P 214-215, In: K. Alef and P. Nannipieri (eds.), Methods in Soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press Inc., San Diego.
4. Alidoust, A., Afyuni, M., Hajabbasi, M.A., and Mosaddeghi, M.R. 2015. The impact of land use on some qualitative characteristics of soil, Case study: Lordegan watershed. 14th Soil Science Congress of Iran, Rafsanjan, Pp: 274-278. (In Persian)
5. Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 1993. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology and Biochemistry. 25: 393-395.
6. Anderson, T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment. 98: 285-293.
7. Armenise, E., Redmile-Gordon, M.A., Stellacci, A.M., Ciccarese, A., and Rubino, P. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil and Tillage Research. 130: 91-98.

8. Askari, M.S., and Holden, N.M. 2015. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. Soil and Tillage Research. 150: 57-67.
9. Babakkhani, A.R., and Sadeghi, A. 2004. Geological map of Zanjan: 1:100000, Geological Survey of Iran. 1p. (In Persian)
10. Banaei, M.H. 2000. Soil resources and use potentiality map of Iran. Soil and Water Research Institute. Tehran. 6p. (In Persian)
11. Basher, L., Betts, H., Lynn, I., Marden, M., McNeill, S., Page, M., and Rosser, B. 2017. A preliminary assessment of the impact of landslide, earthflow and gully erosion on soil carbon stocks in New Zealand. Geomorphology. 307: 93-106.
12. Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., and García, C. 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. Geoderma. 147: 3-4. 159-171.
13. Beheshti, A., Raiesi, F., and Golchin, A. 2011. The effects of land use conversion from pasturelands to croplands on soil microbiological and biochemical indicators. J. Water Soil. 25: 3. 548-562. (In Persian)
14. Bini, D., Alcantara, C., Banhos, K., Kishino, N., Andrade, G., Zangaro, W., and Nogueira, M. 2013. Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in southern Brazil. Europ. J. Soil Biol. 55: 117-123.
15. Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., and Clark, F.E. 1965. Methods of Soil Analysis. Part 2. "Chemical and Microbiological Properties". American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, Agronomy Series No. 9, 801p.
16. Bremer, E., Janzen, H.H., Ellert, B.H., and McKenzie, R.H. 2008. Soil organic carbon after twelve years of various crop rotations in an Aridic Boroll. Soil Sci. Soc. Amer. J. 72: 970-974.
17. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida. 1204p.
18. Doran, J.W., and Parkin, T.B. 1994. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. P 25-37, In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.), Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. Soil Science Society of America, Madison.
19. Franzluebbers, A.J., Causarano, H.J., and Norfleet, M.L. 2011. Soil conditioning index and soil organic carbon in the Midwest and southeastern United States. J. Soil Water Cons. 66: 3. 178-182.
20. Gebeyehu, G., and Soromessa, T. 2018. Status of soil organic carbon and nitrogen stocks in Koga Watershed Area, Northwest Ethiopia. Agriculture and Food Security. 7: 9.
21. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P 383-411, In: A. Klute (eds.), Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison.
22. Gorji, M., Kakeh, J., and Alimohammadi, A. 2017. Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin. Iran. J. Soil Water Res. 47: 4. 775-784. (In Persian)
23. Green, V.S., Stott, D.E., Cruz, J.C., and Curi, N. 2008. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in Brazilian cerrado oxisols. Soil and Tillage Research. 92: 114-121.
24. Grossman, R.B., and Reinsch, T.G. 2002. 2.1 Bulk Density and Linear Extensibility. P 201-228, In: A.W. Dick (eds.), Methods of soil analysis: Part 4 Physical methods. Soil Science Society of America Book Series, Madison.
25. Hussain, I., Olson, K.R., Wander, M.M., and Karlen, D.L. 1999. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. Soil and Tillage Research. 50: 237-249.
26. Jamal, A., Delavar, M.A., Naderi, A., Nourieh, N., Medi, B., and Mahvi, A.H. 2018. Distribution and health risk assessment of heavy metals in soil surrounding a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran. Human and Ecological Risk Assessment. Inter. J. Pp: 1-16.

27.Jones, N., de Graaff, J., Duarte, F., Rodrigo, I., and Poortinga, A. 2014. Farming systems in two less favored areas in Portugal: their development from 1989 to 2009 and the implication for sustainable land management. Land Degradation and Development. 25: 29-44.
28.Kelishadi, H., Mossaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., and Ayoubi, S. 2014. Near-saturated soil hydraulic properties as influenced by land use management systems in Koohrang region of central Zagros, Iran. Geoderma. 213: 426-434.
29.Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. P 425-442, In: A. Klute (eds.), Methods of soil analysis. Part I: Physical analysis. Soil Science Society of America, Madison.
30.Kimble, J.M., Heath, L.S., Birdsey, R.A., and Lal, R. 2003. The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. CRC Press LLC, New York, 394p.
31.Klute, A., and Dirkson, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. P 687-734, In: A. Klute (eds.), Methods of soil analysis, Part 1. American Society of Agronomy, Madison.
32.Lal, R., Kimble, J., and Follett, R.F. 1997. Pedospheric processes and the carbon cycle. P 1-8, In: R., Lal, W.H. Blum, C. Valentine and B.A. Stewart (eds.), Methods for assessment of soil degradation. CRC Press, Boca Raton.
33.Lima, A.C.R., Brussaard, L., Totola, M.R., Hoogmoed, W.B., and de Goede, R.G.M. 2013. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. Applied Soil Ecology. 64: 194-200.
34.McKenzie, N.J., Webster, R., and Ryan, P.J. 2008. Sampling using statistical methods. P 317-326, In: N.J., McKenzie, M.J. Grundy, R. Webster and A.J. Ringrose-Voase (eds.), Guidelines for surveying soil and land resources, second ed. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
35.Masto, R.E., Chhonkar, P.K., Singh, D., and Patra, A.K. 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manur-ing for 31 years in the semi-arid soils of India. Environmental Monitoring and Assessment. 136: 419-435.
36.Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH4 by North Carolina Soil Testing Laboratories. University of North Carolina, Raleigh.
37.Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghmanesh, M., and Myers, B. 2017. Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. Science of the Total Environment. 589: 107-116.
38.Mohaghegh, P., Naderi, M., and Mohammadi, J. 2016. Determination of minimum data set for assessment of soil quality: A case study in Choghakhur lake basin. J. Water Soil. 30: 1232-1243. (In Persian)
39.Mohammadian, M., Nouri, J., Afshari, N., Nassiri, J., and Nourani, M. 2008. Investigation of heavy metals concentrations in the water wells close to Zanjan zinc and lead smelting plant. Iran. J. Health Environ. 1: 51-56. (In Persian)
40.Mueller, L., Schindler, U., and Dexter, A. 1994. Subsoil structure characteristics of river lowland clay soils with shallow water tables, 13. International Soil Tillage Research Organization, Aalborg (Denmark), 24-29 Jul 1994. KVL, ISTRO.
41.Mulugeta, D., and Karl, S. 2010. Assessment of integrated soil and water conservation measures on key soil properties in south Gondar, north-western Highlands of Ethiopia. J. Soil Sci. Environ. Manage. 1: 7. 164-176.
42.Nabiollahi, K., Golmohamadi, F., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., and Davari, M. 2018. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate. Geoderma. 318: 16-28.
43.Naderi, A., Delavar, M.A., Kaboudin, B., and Askari, M.S. 2017. Assessment of spatial distribution of soil heavy metals using ANN-GA, MSLR and satellite imagery. Environmental Monitoring and Assessment. Pp: 189-214.

44.Nath, A.J., and Lal, R. 2017. Effects of tillage practices and land use management on soil aggregates and soil organic carbon in the north Appalachian region, USA. Pedosphere. 27: 172-176.
45.Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-579, In: A.L. Page (eds.), Methods of soil analysis. Part 2. 2nd Ed. Agron. Monogr. 9. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison.
46.Nikpur, M., Mahboubi, A.A., Mosaddeghi, M.R., and Safadoust, A. 2012. Assessment of soil intrinsic properties effects on soil structural stability of some soils in Hamadan province. J. Agric. Sci. Technol. Natur. Resour. 15: 58. 85-96. (In Persian)
47.PBO. 2016. Plan and Budget Organization, Statistical Center of Iran (SCI), Iran Statistical Yearbook, 102p. (In Persian)
48.Pierzynski, G.M. 2000. Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals and waters. North Carolina State University, Raleigh, 102p.
49.Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., and Tan, C.S. 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. Geoderma. 146: 3-4. 466-474.
50.Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. P 149-157, In: A.L. Page (eds.), Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and mineralogical properties. Agron. No. 9, 2nd Ed., American Society of Agronomy, Madison.
51.Saieedifar, Z., Asgari, H., and Akram GHaderi, F. 2016. Effects of soil compaction on carbon and nitrogen sequestration in soil and wheat, soil physical properties and aggregates stability (Case study: Northern of Aq Qala). J. Water Soil. 29: 6. 1553-1566. (In Persian)
52.Sanchez, P.A., and Swaminathan, M.S. 2005. Hunger in Africa: the link between unhealthy people and unhealthy soils. The Lancet. 365: 9457. 442-444.
53.Shukla, M.K., Lal, R., and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research. 87: 2. 194-204.
54.Simon, A., Dhendup, K., Rai, P.B., and Gratzer, G. 2018. Soil carbon stocks along elevational gradients in Eastern Himalayan mountain forests. Geoderma Regional. 12: 28-38.
55.Singh, M.J., and Khera, K.L. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. Arid Land Research and Management. 23: 152-167.
56.Sparling, G.P. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. P 97-119, In: C., Pankhurst, B.M. Doube and V.V.S.R. Gupta (eds.), Biological indicators of soil health. Centre for Agriculture and Bioscience International, Wallingford, UK.
57.Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. P 475-490, In: J.M. Bingham (eds.), Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods. Soil Science Society of America, Madison.
58.Toledo, D.M., Galantini, J., Dalurzo, H., Vazquez, S., and Bollero, G. 2013. Methods for assessing the effects of land use changes on carbon stocks of subtropical oxisols. Soil Sci. Soc. Amer. J. 77: 5. 1542-1552.
59.Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M.R., and Montanarella, L. 2016. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. Environment International. 88: 299-309.
60.Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. Soil Biology and Biochemistry. 19: 703-707.
61.Walker, D.J., and Bernal, M.P. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. Bioresource Technology. 99: 396-403.
62.Walsh, A. 1955. The application of atomic absorption spectra to chemical analysis. Spectrochimica Acta. 7: 108-117.
63.Zakii, J., Asoodar, M.A., and Almasi, M. 2014. Effect of hill slope, tillage and seeding techniques on soil erosion, alimentary elements, organic material and wheat grain yield under rain fed condition. Applied Field Crops Research. 27: 101-109. (In Persian)

64.Zanjan Province Governorate. 2014. Report of the Strategic Development Plan of Agricultural and Watershed of Zanjan Province Based on the Meetings of Agricultural and Water Governance Room. Planning and Budget Office. (In Persian)

65.Zeng, D.H., Hu, Y.L., Chang, S.X., and Fan, Z.P. 2009. Land cover change effects on soil chemical and biological properties after planting Mongolian pine *(Pinus sylvestris var. mongolica)* in sandy lands in Keerqin, northeastern China. Plant and Soil. 317: 121-133.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 9(4), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Evaluation of soil quality under conventional agricultural management methods in Zanjan province

S. Hamidi Nehrani[1], *M.S. Askari[2], S. Saadat[3], M.A. Delavar[4] and M. Taheri[5]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Zanjan, [2]Assistat Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Zanjan, [3]Assistant Prof., Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, [4]Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Zanjan, [5]Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center, Zanjan

Received: 12.14.2018; Accepted: 07.09.2019

Abstract

Background and Objectives: Soil quality plays an important role in the link between high production and sustainability of land resources and can affect the quality of air, water and environment. Assessing the impact of management practices under agricultural land uses on soil quality is one of the necessary processes to achieve sustainable soil management in agricultural ecosystems. Therefore, this research was carried out with the aim of investigating the effects of conventional agricultural management systems on soil quality in Zanjan province.

Materials and Methods: 154 soil samples were collected from 77 farms in Zanjan province (27 sites in irrigated and 50 sites in rainfed) at 0-30 and 30-60 cm depths. Considering the main threats which are associated with soil in Zanjan province, 30 soil physical, chemical and biological properties were measured and evaluated as the soil quality indicators. Additive soil quality index was determined by integrating soil quality indicators. Statistical parameters were applied to compare conventional management approaches in irrigated and rain-fed land uses on soil quality.

Results: Under rainfed land use, at 0-30 cm depth, the aggregate stability and saturated hydraulic conductivity were decreased 49.49% and 22.04% respectively compared to the irrigated land use. Soil bulk density in irrigated land use was 3.68% lower than rainfed land use. Organic carbon, microbial biomass carbon, soil respiration and carbon and nitrogen stock index were higher under irrigated than rainfed land use. Under rainfed land use, soil organic carbon was decreased 33.87% and 31.43%, at 0-30 cm and 30-60 cm depth respectively, compared to the irrigated land use. The electrical conductivity at 0-30 cm depth was 50.46% lower than irrigated land use. Under rainfed land use, available zinc was decreased 66.54% and 63.43%, at 0-30 cm and 30-60 cm depth respectively, compared to the irrigated land use. The metabolic quotient in rainfed land use was higher than the irrigated land use and was identified as an indicator of soil degradation in this study. The metabolic quotient was reduced in irrigated land use by 40% and 33.33% at 0-30 and 30-60 cm depth respectively, compared to the rainfed land use. A significant positive correlation was found between organic carbon and soil physical properties including aggregate stability and saturated hydraulic conductivity and soil biological properties including microbial biomass carbon and soil respiration. The additive soil quality index at 0-30 cm depth, was significantly higher in irrigated land use (0.64) than rainfed land use (0.55).

* Corresponding Author; Email: askari@znu.ac.ir

Conclusion: The results showed that in terms of soil productivity and quality, irrigated management has better conditions than rainfed management. However, higher soil electrical conductivity in irrigated land use indicates the necessity of better chemical fertilizer management and assessing water quality used for irrigating lands in Zanjan province. Soil organic carbon was identified as the most important indicator that influenced the quality of studied soils. Using efficient management approaches including conservational tillage, operating appropriate crop rotation and application of equivalent chemical and organic fertilizers which result in increasing soil organic material are essential for both land uses, particularly under rainfed farming.

Keywords: Agricultural land use, Soil biological quality, Soil management, Soil physical quality